



УДК 658.264

[https://doi.org/10.70769/2181-2284.ME.2\(23\).2026.20](https://doi.org/10.70769/2181-2284.ME.2(23).2026.20)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В СХЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

Д.В. Жуков*

Омский государственный университет путей сообщения, Россия, 644046, г. Омск, пр-т Карла Маркса 35

*e-mail: zhukovdenvl@mail.ru

Аннотация. В статье приведены результаты анализа работы систем теплоснабжения при комбинированной и раздельной выработке электрической и тепловой энергии, показан эффект и потенциал снижения потребления топлива при теплоснабжении города от ТЭЦ, а также снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Предложены мероприятия по снижению расхода топлива для энергоснабжения потребителей. Представлен комплексный показатель оценки энергоэффективности энергосистемы города (региона). Изменение характеристик и структуры энергосистемы, в том числе подключение новых мощностей, необходимо определять в комплексе по критерию минимальных топливных затрат. Сделан вывод о необходимости стимулирования потребителей и производителей энергии к применению энергоэффективных технологий и развития теплоснабжения от ТЭЦ.

Ключевые слова: энергоэффективность, комбинированная выработка, теплофикация, теплоснабжение, топливосбережение, энергоснабжение.

UDC 658.264

ENERGY EFFICIENCY IN URBAN HEATING SYSTEMS

D.V. Zhukov*

Omsk State Transport University, house 35, Karl Marx str., 644046, Omsk, Russia

*e-mail: zhukovdenvl@mail.ru

Abstract. The article presents the results of an analysis of the operation of heating systems with combined and separate generation of electric and thermal energy, and shows the effect and potential of reducing fuel consumption in the city's heat supply from a thermal power plant, as well as reducing emissions of pollutants into the atmosphere. The article proposes measures to reduce fuel consumption for energy supply to consumers. A comprehensive indicator for assessing the energy efficiency of a city's (region's) energy system is presented. Changes in the characteristics and structure of the energy system, including the addition of new capacities, should be determined in a comprehensive manner based on the criterion of minimum fuel costs. It is concluded that it is necessary to encourage consumers and energy producers to use energy-efficient technologies and to develop heating systems based on thermal power plants.

Keywords: energy efficiency, combined generation, heat generation, heat supply, fuel saving, and energy supply.

Введение

Энергоснабжение городов заключается в обеспечении потребителей согласно их потребностям электрической и тепловой энергией, а также топливом. При разработке схем теплоснабжения городов следует уделять особое внимание энергоэффективности, то есть минимизации расхода энергии топлива на выработку электрической и тепловой энергии, так как работа этих систем осуществляется длительный период, а неэффективное использование топлива приводит к дополнительным расходам и загрязнению окружающей среды.

В последние десятилетия, несмотря на широко освещаемые вопросы энергосбережения и принятый федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности» (№261-ФЗ) в энергоснабжении регионов, как правило, происходит обратный эффект – снижение энергоэффективности энергетических систем за



счет увеличения доли электроэнергии, вырабатываемой в конденсационном цикле, а также увеличения доли тепловой энергии от котельных.

Известно, что комбинированная выработка электрической и тепловой энергии является наиболее эффективной технологией, позволяющая экономить до 4х раз первичного топлива для целей теплоснабжения [1, 2]. Согласно «Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года» в качестве первоочередных мер по повышению эффективности теплоснабжения входит приоритет комбинированной выработки электрической и тепловой энергии, обеспечиваемый путем создания дополнительных экономических и законодательных стимулов для подключения объектов капитального строительства, а также включая переключения тепловой нагрузки объектов к системам теплоснабжения с комбинированной выработкой электрической и тепловой энергии [3]. Фактически, при сопоставимой стоимости тепловой энергии от ТЭЦ, но значительно меньших капитальных вложений в строительство котельных, приоритет отдается отдельной выработке тепловой энергии, а с учетом существующего состояния тепловых сетей и уровня потерь теплофикация становится экономически невыгодной для конечного потребителя. За счет отказа от теплофикации происходит постепенное снижение энергетической эффективности.

При разработке схем теплоснабжения городов основная задача заключается в обеспечении тепловой энергией объектов нового строительства независимо от энергетической эффективности всей системы. Хотя еще в прошлом веке на этапе развития теплофикация рассматривалась как «комплексно-энергетическая проблема, а изолированное рассмотрение отдельных вопросов развития, например, только задач электроснабжения или теплоснабжения, вне общего энергетического комплекса приводило к ошибочным решениям» [1]. Учитывая значительные расходы топлива, выбросы от его сжигания, проблема повышения энергоэффективности систем энергоснабжения городов является актуальной.

Величина изменения энергоэффективности может быть получена путем комплексной оценки потребления энергии (тепловой и электрической) и затрат энергии первичного топлива, причем эти затраты также должны учитывать эквивалентные затраты топлива на транспорт первичного топлива до источника энергии, например, затраты топлива на привод компрессорных станций газопроводов, на выработку электрической энергии для перевозки угля железнодорожным транспортом и т.д.

Методы и материалы

Расход топлива для выработки электрической и тепловой энергии при их раздельном производстве определяется по формулам:

$$B_э = b_э \cdot W \quad (1)$$

$$B_т = b_т \cdot Q \quad (2)$$

где $b_э$ – удельный расход топлива на выработку электрической энергии, г у.т./кВтч;

$b_т$ – удельный расход топлива на отпуск энергии, кг у.т./ГДж (кг у.т./Гкал).

Удельные расходы топлива на выработку электрической энергии определяются технологическим процессом и типом оборудования электростанции. Так, для конденсационной электростанции с начальными параметрами пара температура 555 °С, давление 14 МПа – $b_э \approx 350$ г у.т./кВтч.

Удельные расходы топлива на выработку тепловой энергии определяются типом оборудования котельной и КПД котлов. Для котельных с водогрейными котлами типа ПТВМ и КВГМ $b_т \approx 40$ кг у.т./ГДж (≈ 165 кг у.т./Гкал).

При комбинированной выработке на ТЭЦ с паровыми турбинами скрытая теплота фазового перехода в сетевых подогревателях полезно используется для теплоснабжения, а не бесполезно отводится в окружающую среду через охладители (градирни, водоемы и т.д.).

На рис. 1 представлены зависимости удельных расходов топлива, полученные при анализе диаграмм режимов паровых турбин при равноэкономичном удельном расходе топлива на электроэнергию.



Линия 1 отображает удельный расход топлива на электрическую энергию ТЭЦ, эквивалентный удельному расходу топлива на электрическую энергию ГРЭС при работе на твердом топливе (КПД=82 %). Линия 2 – то же при работе на газе (КПД=89 %). Линия 3 отображает удельный расход топлива на электрическую энергию ГРЭС с учетом регенерации 10% при работе на твердом топливе. При повышении температуры отработанного пара происходит увеличение удельного расхода топлива.

Линии 4 и 5 отображают удельные расходы топлива на тепловую энергию от турбин ТЭЦ при работе, соответственно, на твердом топливе и на газе. Как видно из графиков, в зависимости от температуры отработанного пара (температуры теплоносителя) для дополнительной выработки тепловой энергии от ТЭЦ в целях теплоснабжения требуется в 2.5...4 раза меньше топлива, чем от котельных. При этом, чем ниже температура отработанного пара, которая определяется температурой теплоносителя в системах теплоснабжения, тем меньше расход топлива.

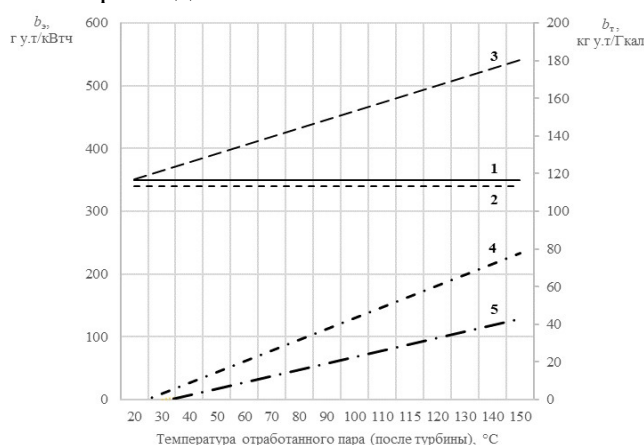


Рис. 1. Удельные расходы топлива.

Fig. 1. Specific fuel consumption.

Определить технологически необходимые затраты топлива и степень совершенство процесса выработки возможно на основе эксергетического анализа [4]. Эксергия – это высококачественная полезная часть топливных затрат энергии за вычетом технологически неизбежных потерь. Анергия – это сопутствующие, неразрывно связанные при производстве «эксергии» (электрической энергии) вынужденные топливные затраты на тепловые потери, в том числе отводимые в окружающую среду в виде тепла несконденсированного отработанного пара турбин ТЭЦ. В отработанном паре турбины содержится до ~60...90% энергии сожженного топлива в виде скрытой теплоты парообразования, однако этот пар уже не может совершать полезную механическую работу [2]. Однако, эксергетический метод для большинства теплоэнергетиков непривычен и достаточно сложен для проведения анализа. В этой связи необходим более простой и понятный показатель для оценки энергетической эффективности.

ФЗ-261 определяет энергетическую эффективность как характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю. Применительно к ТЭЦ, энергоэффективность – это преобразование внутренней энергии топлива во внешнюю работоспособную энергию с использованием отработанного пара для выработки электрической энергии для теплоснабжения потребителей.

Например, для получения 1 Гкал требуется 142,86 кг у.т. (теплотворная способность 1 кг у.т. соответствует 7000 ккал). Однако, данную величину можно получить от разных видов энергоносителей: сжигание различных видов топлива (газ, мазут, уголь), пар высокого



давления, отработанный пар турбин, электрическая энергия и т.д. Вопрос заключается в том, как эффективно использовать энергию первичного топлива.

Согласно ГОСТ Р 51541–99 для оценки энергоэффективности используются показатели:

коэффициент полезного использования (КПИ) энергии - отношение всей полезно используемой в хозяйстве (на установленном участке, энергоустановке и т.п.) энергии к суммарному количеству израсходованной энергии в пересчете ее на первичную;

коэффициент полезного действия (КПД) - величина, характеризующая совершенство процессов превращения, преобразования или передачи энергии, являющаяся отношением полезной энергии к подведенной;

энергоёмкость производства продукции - величина потребления энергии и (или) топлива на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления продукции, выполнение работ, оказание услуг на базе заданной технологической системы;

полная энергоёмкость продукции - величина расхода энергии и (или) топлива на изготовление продукции, включая расход на добычу, транспортирование, переработку полезных ископаемых и производство сырья, материалов, деталей с учетом коэффициента использования сырья и материалов.

Однако, данные показатели в полной мере не отражают энергоэффективность системы города и/или региона. В этой связи необходимо применение комплексного показателя, отражающего суммарные расходы энергии как на электрическую, так и тепловую энергию. Комплексный показатель энергоэффективности может быть определен исходя из принципа минимизации затрат топлива, а именно, вся энергетическая потребность обеспечивается по приоритетности – сначала источниками на альтернативных видах энергии (ГЭС, ВЭС, СЭС), затем теплофикационными (ТЭЦ) от потребного количества тепла, и уже остальное количество – от ГРЭС в конденсационном цикле [5].

Показатель энергоэффективности общего комплекса энергетического хозяйства (ПЭС) энергосистемы города (региона) определяется по формуле:

$$ПЭС = \frac{w \cdot \alpha \cdot Q_T}{\alpha \cdot Q_T + (1 - \alpha) Q_T + Q_K + Q_{KT}} \quad (3)$$

где w - удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении по диаграммам режимов турбин, кВт/Гкал; α — коэффициент теплофикации;

$$\alpha = \frac{Q_{OT}}{Q_{OT} + Q_{ПК}} \quad (4)$$

Q_T — тепловая мощность ТЭЦ, Гкал/ч; Q_{OT} — тепловая мощность отборов, Гкал/ч;

$Q_{ПК}$ — тепловая мощность пиковых котлов ТЭЦ, Гкал/ч; Q_K — тепловая мощность котельных, Гкал/ч.

Q_{KT} — тепловая мощность, требуемая на выработку электроэнергии в конденсационном режиме теплофикационных турбинах ТЭЦ, и электроэнергии ГРЭС, полученной из энергосистемы, с учётом их коэффициента полезного действия и потерь на транспорт, определяемая по формуле:

$$Q_T = Q_{OT} + Q_{ПК} \quad (5)$$

$$Q_{KT} = \frac{(N - W_B) \cdot 0.86}{\eta} \quad (6)$$

где η — КПД выработки электрической энергии в конденсационном режиме;

N — требуемая электрическая мощность потребителей, МВт;

W_B — электрическая мощность, полученная без использования органического топлива на ГЭС, АЭС, ВИЭ, МВт.

Результаты

Согласно «Схеме теплоснабжения города Омска на период до 2040 года» в 2023 году на существующих ТЭЦ города Омска (ТЭЦ-3, ТЭЦ-4, ТЭЦ-5) было выработано 5806 млн. кВтч, в том числе на тепловом потреблении 3535 млн. кВтч, отпущено 9361 тыс. Гкал, при общем расходе топлива 3132 млн. т.у.т. Экономия топлива за счет комбинированной



выработки оценивается в размере 718 тыс. т у.т. (23%). От существующих городских отопительных и отопительно-производственных котельных отпущено 5762 тыс. Гкал. За счет использования данной тепловой нагрузки для комбинированной выработки либо переключения их тепловой нагрузки на ТЭЦ возможно дополнительно сократить расход топлива на 314 тыс. т.у.т.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают эффективность выработки тепловой энергии в теплофикационном цикле. Даже с учетом потерь тепловой энергии в тепловых сетях эффективность теплоснабжения от ТЭЦ существенно выше, чем от котельных.

С учетом приоритетности теплофикационной выработки представлен показатель энергетической эффективности системы. Оценку энергетической эффективности необходимо проводить на основе комплексного показателя энергосистемы города (региона), учитывающий эффективность выработки энергии. При этом любое изменение характеристик системы (подключение новых мощностей, выбытие мощностей, переключение нагрузок и т.д.) определять в комплексе по критерию минимальных топливных затрат за вычетом энергии от возобновляемых источников.

Заключение

1. Теплофикация является наиболее совершенной технологией, позволяющей в несколько раз сократить затраты топлива на теплоснабжение по сравнению с теплоснабжением от котельных и, соответственно, сократить выбросы вредных веществ в городах.

2. Проведена оценка эффекта от теплофикации на действующих ТЭЦ города Омска в 2023 году в размере 718 тыс. т.у.т. (46%). За счет использования тепловой нагрузки городских котельных для комбинированной выработки либо переключения их тепловой нагрузки на ТЭЦ возможно дополнительно сократить расход топлива на 314 тыс. т.у.т.

3. Показан показатель энергоэффективности энергосистемы городов и/или регионов. Любое изменение характеристик и структуры системы, в том числе подключение новых мощностей, определять в комплексе по критерию минимальных топливных затрат за вычетом энергии от возобновляемых источников.

4. Необходимо экономическое стимулирование потребителей и производителей энергии по применению энергоэффективных технологий и развитию теплоснабжения от ТЭЦ для снижения расход топлива на теплоснабжение и выбросов вредных веществ в атмосферу в городах и регионах.

Благодарности

Автор благодарит инженера-энергетика, аналитика теплофикации Богданова Александра Борисовича за предоставленные аналитические материалы по эффективности теплофикации.

Литература

1. Мелентьев Л.А. Теплофикация Ч. 1. / Проф. Л. А. Мелентьев; Акад. наук СССР. Энергет. ин-т им. акад. Г. М. Кржижановского. Москва, Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР, 1944. 248 с.
2. Богданов А.Б., Богданова О.А., Жуков Д.В. Об эффективности теплофикации, топливосбережении и декарбонизации тепловой энергетики России // портал по теплоснабжению *РосТепло.ру* https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=4392
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2025 г. № 908-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года» <http://static.government.ru/media/files/LWYfSENa10uBrrBoyLQqAAOj5eJYIA60.pdf>
4. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. М., Энергия, 1973. 296 с.
5. Шлапаков В.И. Степень совершенства. Выработка энергии совокупными источниками региона // *Энергетика и промышленность России*, 2021, №8. <https://www.eprussia.ru/epr/415-416/3629079.htm>